

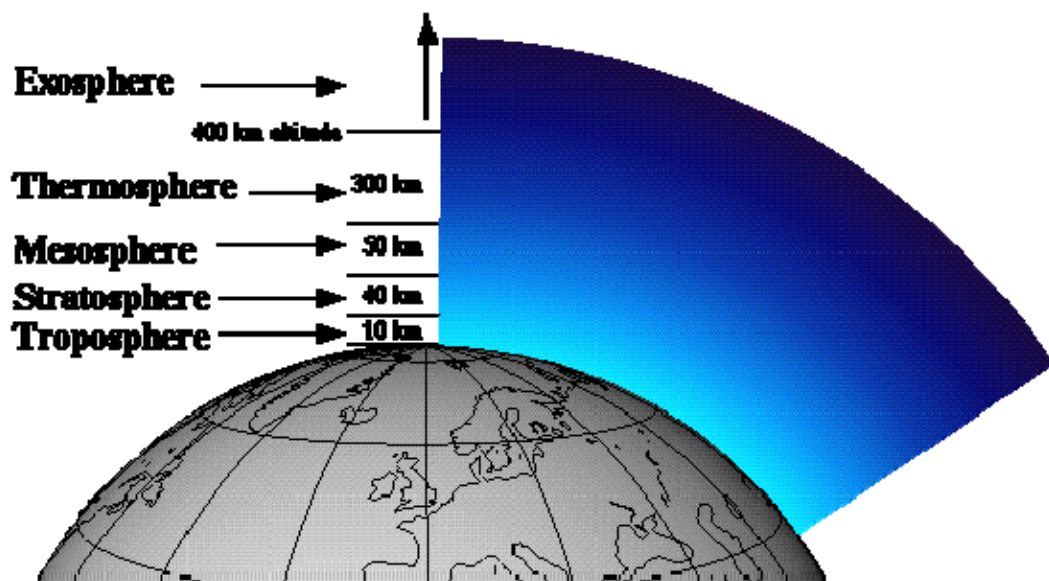
Infeksi di lapisan ozon

Lapisan ozon terkena infeksi? Kok bisa? Infeksi apa? Bagaimana cara mengobatinya supaya cepat 'sembuh'?

Ternyata gejala infeksi di lapisan ozon ini sudah terdeteksi sejak puluhan tahun yang lalu, sekitar tahun 1970. Tetapi seperti kebiasaan manusia, kita mengacuhkannya. Ah... cuma segitu kok, bukan masalah besar! Tapi sekarang jadi masalah besar! Karena semakin lama penyakitnya ini semakin parah dan terus menggerogoti lapisan pelindung bumi tempat kita hidup ini.

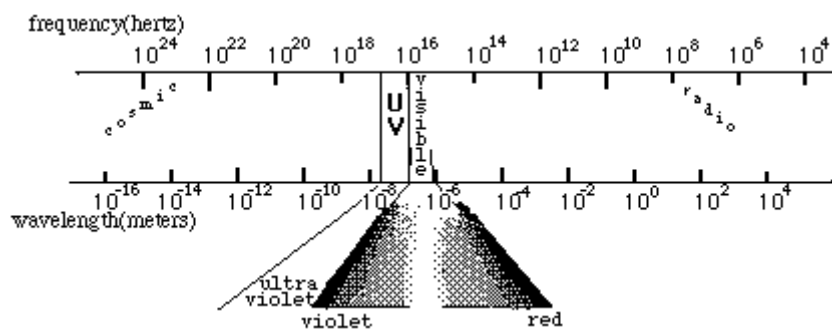
Tameng Ozon

Lapisan ozon merupakan lapisan tipis gas O_3 yang secara alami menyelimuti permukaan bumi. Ozon yang ada di lapisan troposfer justru membawa dampak negatif karena bisa membentuk kabut asap yang beracun. Banyak industri yang menghasilkan gas ozon dan melepaskannya ke udara sehingga mencemari lingkungan. Untung saja jumlah ozon di lapisan ini hanya sedikit karena 90% dari total ozon di bumi terletak di ketinggian sekitar 20 km (di lapisan stratosfer) dan menjadi tameng yang sering disebut *stratospheric ozone*.



Gambar 1 Lapisan-lapisan atmosfer yang menyelimuti bumi

Sinar matahari memasuki permukaan bumi pada berbagai panjang gelombang. Sinar tampak berada pada panjang gelombang 400-700 nm, sinar infra merah pada panjang gelombang di atas 700 nm, sedangkan sinar ultraviolet pada panjang gelombang di bawah 400 nm. Ada tiga macam sinar ultraviolet: UVA, UVB, dan UVC. UVA berada pada panjang gelombang yang sangat dekat dengan sinar tampak (sekitar 320-400 nm) dan dapat menembus lapisan-lapisan selimut bumi ini dengan mudah. UVB (270-320 nm) tidak bisa semudah itu melewati tameng ozon yang perkasa ini. Sebagian sinar UVB (tidak semua) dihalangi oleh ozon sehingga tidak bisa masuk untuk merusak makhluk hidup termasuk manusia. UVC (150-300 nm) dapat diserap hampir seluruhnya (97-99%) sehingga tidak menjadi masalah bagi kehidupan bumi.

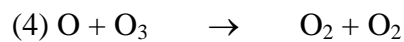
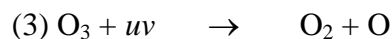
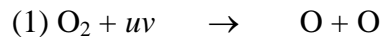


Gambar 2 Spektrum sinar matahari

Tuh, lumayan kan! Tameng kita bisa melindungi bumi dari UVC dan sebagian UVB. Coba saja bayangkan, bagaimana jadinya tanpa ozon! Tapi tunggu dulu, sekarang kan ozon kita yang perkasa sedang terkena infeksi! Infeksi ini menyebabkan menipisnya lapisan-lapisan ozon di berbagai tempat pada waktu-waktu tertentu setiap tahunnya. Mirip dengan kaus kaki yang dipakai terus-menerus sehingga semakin menipis dan menjadi berlubang. Penyakit di lapisan ozon ini belum sampai membentuk lubang, hanya saja ada beberapa bagian yang sudah sangat menipis sehingga disebut lubang ozon. Kalau tidak cepat-cepat dirawat, bisa-bisa tameng kita betul-betul jebol dan sinar UV yang jahat dan kelaparan langsung menerobos tanpa halangan untuk memangsa kulit kita yang menjadi santapan empuk (menyebabkan kanker kulit), merusak retina mata, membentuk kabut asap (*smog*) beracun, dan ‘memakan’ tanaman.

Pembentukan Lubang Ozon

Untuk mengetahui bagaimana ozon bisa terjangkit infeksi ini kita harus mengetahui dulu bagaimana ozon terbentuk. Pembentukan ozon melibatkan empat reaksi yang dikenal sebagai reaksi Chapman. Reaksi-reaksi ini bisa terjadi dengan bantuan sinar ultraviolet (uv) dari matahari.



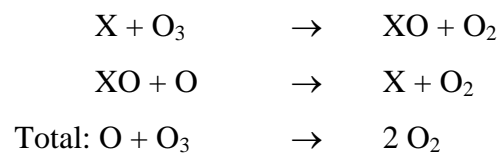
Reaksi (2) merupakan reaksi yang menghasilkan O_3 (ozon), yang kemudian terurai lagi dalam reaksi (3) dan (4). Tetapi sesudah reaksi (3) terjadi, O dan O_2 yang terbentuk dari reaksi langsung bergabung kembali (reaksi (2) terjadi lagi) sehingga tidak ada O_3 yang hilang (ada kesetimbangan yang menunjukkan kecepatan reaksi pembentukan ozon sama dengan kecepatan reaksi penguraian ozon). Apalagi reaksi (4) berjalan sangat lambat. Kalau begitu, seharusnya lapisan ozon tidak mungkin bisa menipis dong? Betul sekali! Jika hanya disebabkan keempat rangkaian reaksi Chapman maka tameng kita tidak mungkin bisa jebol karena selalu berada dalam kesetimbangan. Ini berarti ada reaksi lain yang terjadi! Dan ada zat lain yang berperan dalam memecah molekul O_3 dan merusak kesetimbangan reaksi Chapman. Iih... jahat sekali! Zat apa sih yang begitu kuat sehingga bisa menjebol tameng andalan kita ini? Jawabnya: Radikal Bebas!

Radikal Bebas

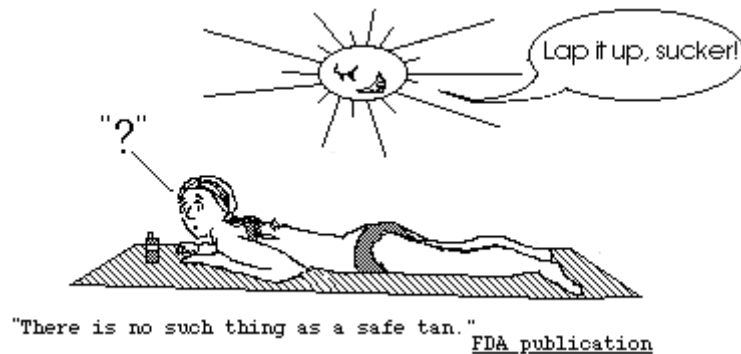
Yang dikenal sebagai radikal bebas sebenarnya merupakan zat yang berada dalam bentuk yang tidak stabil sehingga sangat reaktif (sangat mudah bereaksi) dengan zat-zat lain yang berada di sekelilingnya dalam usaha mencapai bentuk paling stabil (membentuk molekul baru). Radikal bebas ini ada yang berhasil mencapai ketinggian tempat bersemayamnya lapisan ozon sehingga begitu merasakan keberadaan ozon, langsung saja disambar sehingga molekul O_3 pecah dan bergabung dengan radikal bebas itu membentuk molekul lain yang lebih stabil (tidak mudah terurai lagi). Wah, tidak sopan ya, dengan lancang

merebut atom O (oksigen) yang sudah berpasangan dengan atom-atom O lainnya!
Apa saja sih yang termasuk radikal bebas yang lancang ini?

Radikal bebas yang dikenal sangat kuat adalah golongan halogen, yaitu ion fluorida (F), klorida (Cl), dan bromida (Br). Oksida hidrogen (HO_x), nitrogen (NO_x), klorin (ClO_x), dan bromin (BrO_x) juga termasuk radikal bebas yang mampu menguraikan ozon. Tapi kalau memang mereka sangat reaktif, bukankah seharusnya mereka sudah bereaksi dengan zat-zat lain yang berpapasan dengan mereka dalam perjalanan menuju ketinggian lapisan ozon di stratosfer itu? Ternyata sewaktu berangkat ke atmosfer bumi, radikal-radikal bebas ini belum sebebaskan itu! Mereka sebelumnya sudah berikatan dengan unsur-unsur lain dalam bentuk senyawa yang luar biasa stabil. Salah satu contoh senyawa ini adalah yang dikenal sebagai *ChloroFluoroCarbon* (CFC). CFC yang sangat stabil ini menjadi tidak stabil lagi begitu mencapai lapisan stratosfer karena terkena sinar matahari yang jauh lebih panas pada ketinggian tersebut sehingga mampu melepas atom klorinya yang langsung bereaksi dengan O₃:



X merupakan radikal bebas yang dapat memecah ozon menjadi O₂ dan XO yang juga merupakan radikal bebas yang dapat menyebabkan terjadinya reaksi selanjutnya dengan atom oksigen sehingga menghasilkan X kembali yang nantinya akan melanjutkan reaksi penguraian ozon. Proses ini berputar terus (reaksi berantai) sehingga 1 atom Cl saja mampu melahap 100.000 molekul ozon! Hilanglah sudah kesetimbangan reaksi Chapman karena dirasuki si penerobos lancang ini. Ini menyebabkan jumlah O₃ di stratosfer makin lama makin berkurang sehingga lapisannya semakin menipis. Karena lapisan ini makin tipis, sinar ultraviolet matahari (UVB) jadi lebih bebas menerobos dan berpesta di bumi, merusak semua yang disentuhnya. Sewaktu penipisan ozon pertama kali dideteksi, semua mengira alat pengukur yang digunakan sedang rusak, jadi diacuhkan saja. Setelah alat diganti baru deh ketahuan kalau datanya tidak salah.



Gambar 3 Serangan ultraviolet dari matahari tanpa dihalangi ozon

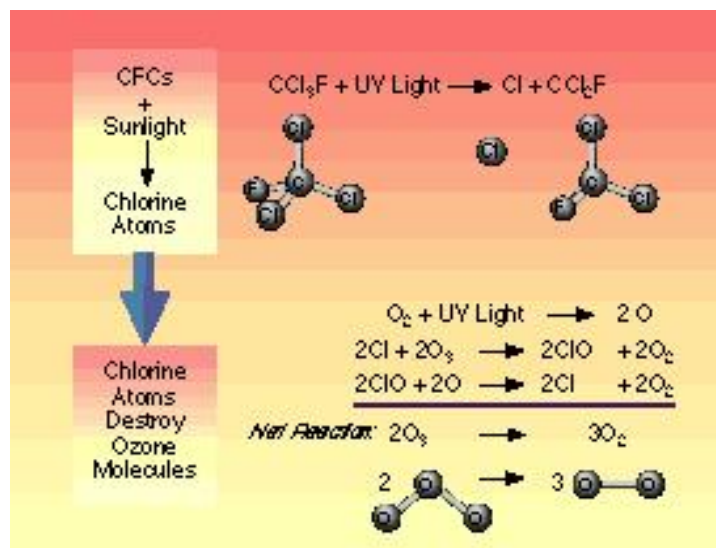
CFC bukan satu-satunya senyawa yang bisa melepas radikal bebas yang menyebabkan rusaknya lapisan ozon, tetapi penelitian yang ada sekarang menunjukkan bahwa peranan CFC paling besar. Lagipula proses penipisan ozon ini baru mulai terdeteksi gejalanya sesudah penemuan dan produksi CFC besar-besaran di bumi. CFC sebenarnya butuh waktu sekitar lima tahun untuk mencapai ketinggian lapisan ozon, tetapi begitu sampai di sana zat ini sangat betah karena butuh waktu yang jauh lebih lama untuk mengeluarkannya dari lapisan stratosfer, sampai puluhan tahun (sekitar 75 tahun). Di sinilah letak bahayanya! Radikal bebas yang secara alami ada di lapisan atmosfer hanya sedikit berperan dalam penguraian ozon. Begitu selimut kita ini dirasuki atom klor yang dilepaskan dari senyawa CFC, langsung deh penguraian ozon menjadi sekitar empat kali lipat!

Resep Penguraian O₃

Supaya reaksi penguraian O₃ berlangsung atom Cl harus dilepaskan dari senyawa seperti CFC. Proses ini tidak spontan, tapi ada resepnya!

Pertama-tama harus ada aliran udara dingin yang membentuk vorteks polar yang bisa mengisolasi udara di dalam pusarannya. Nah, di dalam pusaran udara dingin itu temperaturnya benar-benar rendah (sekitar -80°C atau 193 K). Saking dinginnya sampai-sampai bisa menyebabkan terbentuknya *Polar Stratospheric Cloud* (PSC) atau sering disebut *Mother of Pearl*. Temperatur dingin ini tidak berubah karena selalu terisolasi dalam vorteks, jadi PSC juga tetap ada. PSC ini

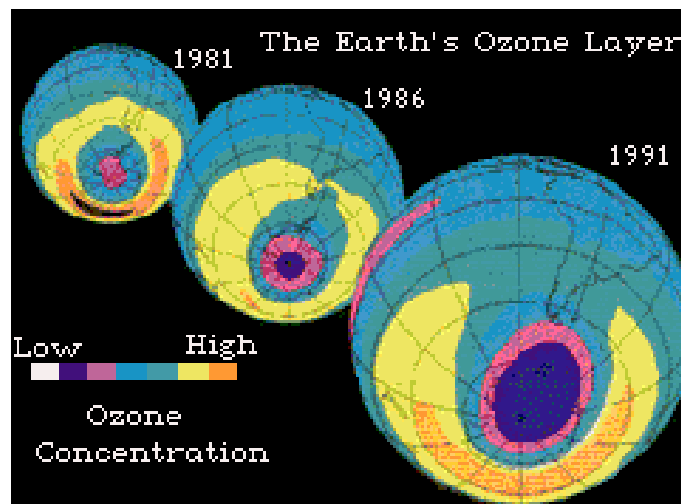
merupakan tempat terjadinya reaksi-reaksi heterogen yang mengubah klor (dan brom) yang tadinya tidak aktif menjadi atom-atom yang aktif (reaktif). Reaksi ini terjadinya cepat sekali! Tapi atom-atom reaktif yang dihasilkannya tidak begitu saja menguraikan ozon. Ada bumbu terakhir yang paling penting: sinar matahari! Gelombang ultraviolet matahari yang berhasil menembus vorteks dingin tadi itulah yang menyebabkan terjadinya reaksi penguraian ozon. Sinar matahari ini juga yang bertanggung jawab terhadap terjadinya reaksi penguraian CFC tadi. Nah ini sebabnya CFC tidak terurai sebelum mencapai lapisan stratosfer (karena reaksi penguraiannya hanya bisa terjadi PSC).



Gambar 4 Ilustrasi reaksi penguraian CFC yang melepaskan atom Cl

Sekarang kita mengerti kenapa penipisan lapisan ozon justru paling banyak ditemukan di daerah benua Antartika. Di sana temperatur udara musim dingin (September-Oktober) di stratosfer sangat rendah sehingga banyak terbentuk PSC. Lain dengan benua Arktik yang mengalami musim dingin yang lebih hangat karena adanya gelombang planet yang kuat sehingga mengacaukan sirkulasi udara dinginnya. Senyawa CFC bisa sampai ke benua Antartika juga karena terbawa aliran udara. Tapi ini bukan berarti penipisan ozon hanya bisa terjadi di daerah Antartika saja! Benua-benua lain tetap menghadapi permasalahan yang sama, hanya saja proses penipisan lapisan ozonnya relatif lebih lama.

Ada satu bumbu tambahan yang bisa mempercepat penipisan lapisan ozon: CO₂! Kita selama ini sudah tahu kalau gas karbon dioksida bisa menyebabkan efek rumah kaca yang berakibat pada naiknya temperatur bumi (*global warming*). *Global warming* bisa menyebabkan melelehnya lapisan es di kutub sehingga seluruh daratan bumi ini bisa tenggelam. Ternyata bahayanya bukan itu saja! *Global warming* terjadi karena lapisan gas CO₂ menghalangi sinar infra merah untuk keluar dari bumi menembus lapisan atmosfer (infra merah terperangkap sehingga memanaskan bumi). Tapi gas CO₂ yang ada di lapisan atmosfer juga menghalangi sinar infra merah dari matahari untuk lewat sehingga suhu di stratosfer menjadi semakin dingin. Suhu yang semakin dingin ini mempercepat terbentuknya *Mother of Pearl* tadi. Jadi, kita harus hati-hati dengan semua aktivitas kita di bumi karena secara tidak sadar (kalau tidak tahu fisika!) kita bisa merusak bumi. (Yohanes Surya)



Gambar 5 Lubang ozon yang semakin membesar dari tahun ke tahun